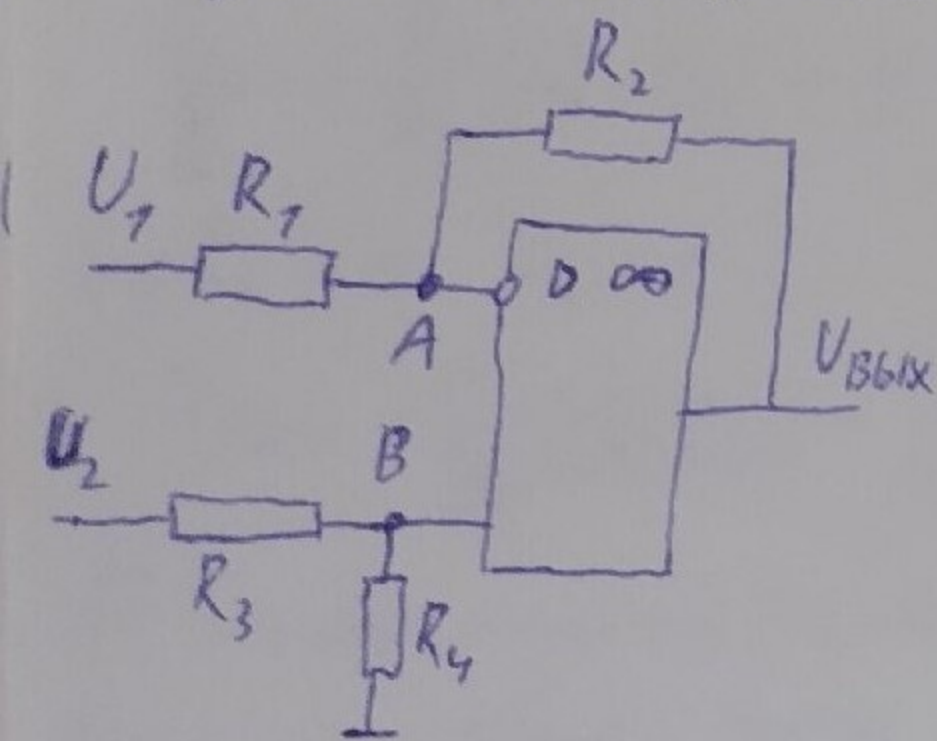## 9) Понятие идеального ОУ. Общая схема вкл-ия ОУ

Поскольку реальн. ОУ имеют сложн. схему и описыв-ся большой сист. пар-ов, то для упрощен. расчётов исп-ют понятие идеального ОУ. Такой ОУ имеет $K_A = \infty$ (беск. больш.), беск. больш. входн. сопр-ие дифф. и синфазн., беск. малое вых-ое сопр-ие, нулевые статич. ошибки.

Общая схема включения

Считаем ОУ идеальным: $V_A = V_B$

В этой схеме ОУ охвачен ООС, реализ-ой на R_1 и R_2

Найдём напр. в т. A и B

$$U_A = \frac{U_1 R_2 + U_{вых} R_1}{R_1 + R_2} \qquad U_B = \frac{U_2 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$U_{вых} = \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_4}{R_1} U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_1 \quad \circledast$$

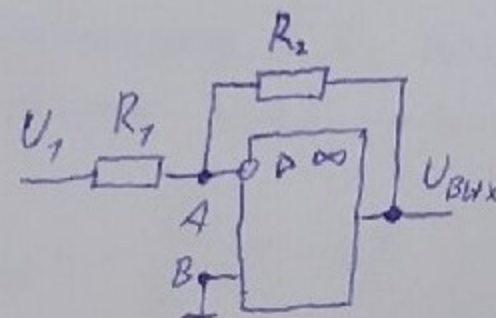**(10)** Частные случаи схем включения ОУ: дифференциальный, инверт-ий, неинв-ий усилители; повторитель напряжения

$$U_{вых} = \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_4}{R_1} U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_1 \quad ⊗ \quad общ. \ схема \ вкл-ия$$

А) $R_1 = R_3 \quad R_2 = R_4$

$$U_{вых} = \frac{R_2}{R_1}(U_2 - U_1) - дифф-ий \ усилитель$$

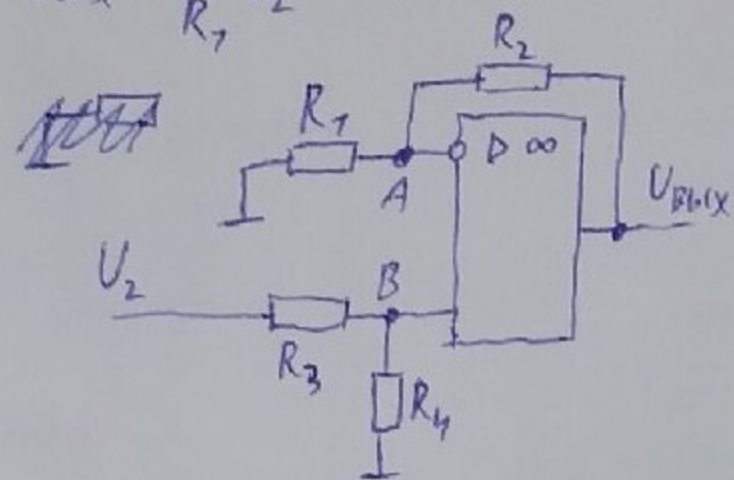**Б)** $R_3 = \infty \quad R_4 = 0$

$$U_{вых} = \frac{R_2 \cancel{R_4 U_2}}{\cancel{R_4}} - \frac{R_2}{R_1} U_1 - инверт-ий \ усилитель$$

В этой схеме $U_A = U_B = 0$, т. А наз-ся потенц. нулевой. В схеме автом-ки выст-ся это условие: при полож. вход. напр-ии вых-ое напр. отриц. и поддерж-ся на таком знач-ии, чтобы в т. А всегда было 0 В
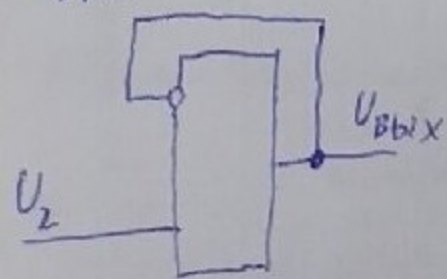
В) $U_1 = 0 \quad R_3 = R_1 \quad R_4 = R_2$

$$U_{вых} = \frac{R_2}{R_1} U_2 - неинв-ий \ усилитель$$

Г) $R_1 = \infty \quad R_2 = 0 \quad R_3 = 0 \quad R_4 = \infty$

$$U_{вых} = U_2 - повторит. \ напр-ия \ с \ больш. \ вх-ым \ сопр-ем$$

Модификации рассм-ых схем явл-ся схемы, в которых вместо резист-ов могут исп-ся др. эл-ты, напр. конденс.
Схема „Б" явл-ся основн. схемой для ОУ

⑪ Выполнение мат. операц. на ОУ: слож, интегрир., диффр., логарифм-ие

В аналоговых выч-ых машинах (АВМ) для кодир. зн-ий физ-их величин исп-ют уровень напр-ия и все осн. опер-ии над перем-ми (напр-ми) вып-ся с помощью ОУ
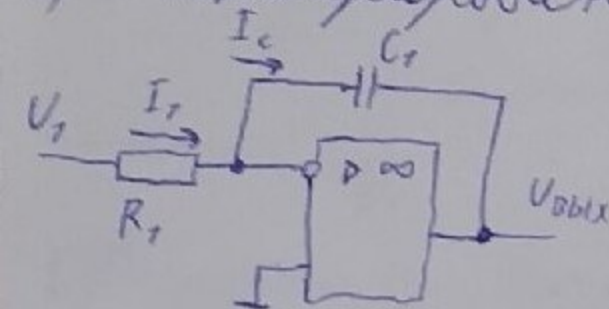
А) Сумматор
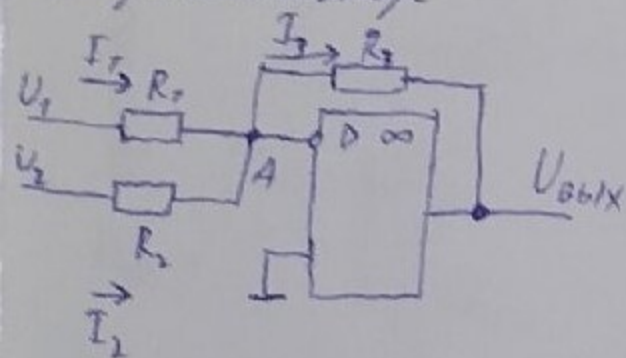
$$U_A = 0 \quad I_3 = I_1 + I_2 \quad -\frac{U_{вых}}{R_3} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \quad U_{вых} = -\left(\frac{R_3}{R_1} U_1 + \frac{R_2}{R_1} U_2\right)$$

Пока напр. $U_a = 0$, то втекающ. в R_1 и R_2 токи уходят через R_3 на выход и соотв-но напр-ие U_1 падает на R_1, U_2 на R_2, а $U_{вых}$ на R_3

При $R_1 = R_2$ получаем $U_{вых} = -\frac{R_3}{R_1}(U_1 + U_2)$

Б) Интегрирование

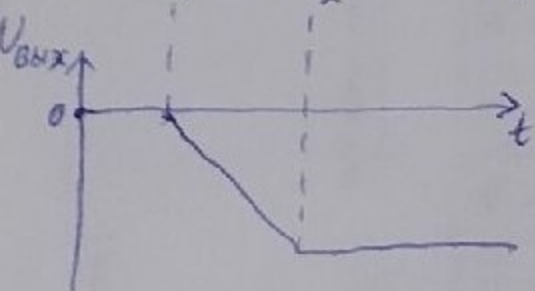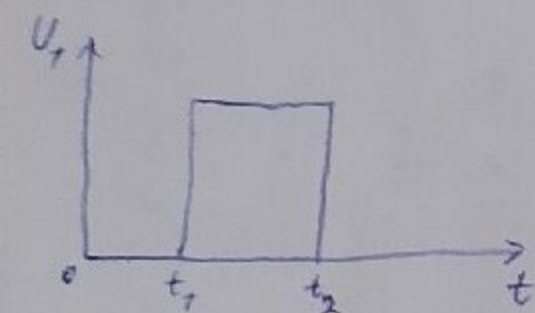$$I_1 = I_c \quad \frac{U_1}{R_1} = -C_1 \frac{dU_{вых}}{dt}$$
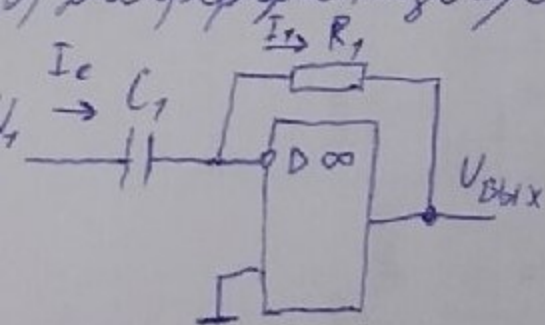
после интегрир. лев. и прав. частей получ.:

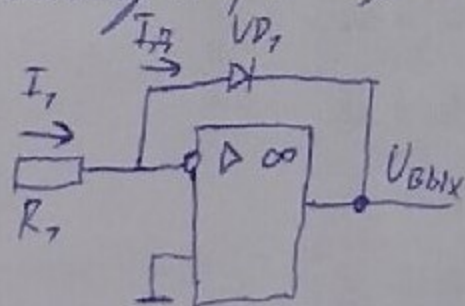$$U_{вых} = -\frac{1}{R_1 C_1} \int U_1 dt$$

Таким-им работу схемы на примере

До момента t_1 на входе 0 В, тока в цепи схемы нет, напр. на вых 0 В. В момент t_1 скачкообр. увел. напр. на входе, часть пост. ток I_1, котор. далее протекает через конденс, поэт. напр. на конденс. (на выходе) ~~возраст~~ по лин. закону в отриц. сторону нарастает

В) Дифференцирование

$$I_1 = I_c \quad -\frac{U_{вых}}{R_1} = C_1 \frac{dU_1}{dt} \quad U_{вых} = -R_1 C_1 \frac{dU_1}{dt}$$
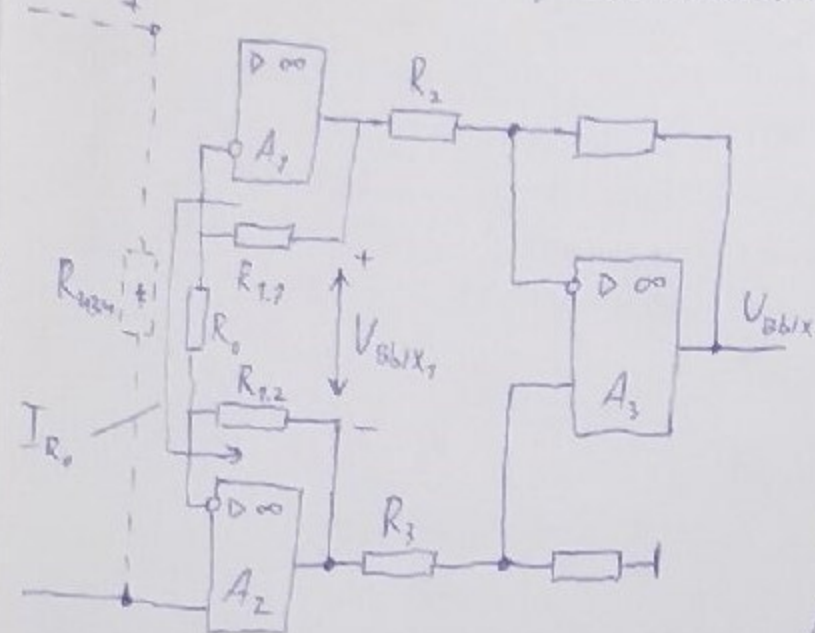
Д) Логарифмирование

$$I_1 = I_Д \quad I_Д = I_0\left(e^{\frac{U_Д}{m\varphi_т}} - 1\right) \approx I_0\left(e^{\frac{U_Д}{\varphi_т}} - 1\right) \quad \frac{U_1}{R_1} = -I_0 e^{\frac{U_{вых}}{\varphi_т}}$$

После логарифмир. лев и прав. части получ.:

$$U_{вых} = -\varphi_т \ln\left(\frac{U_1}{I_0 R_1} + 1\right)$$

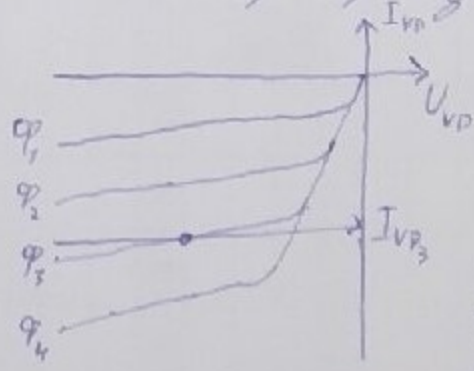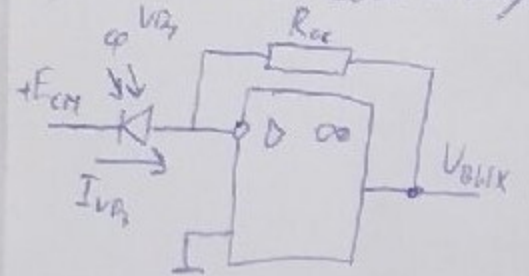# ④ Применение ОУ в изм-ых устр-ах: изм-ый усил., оптика-электр. преобр-ль, преобразователь температура

А) Измерительный усилитель

$R_{1.1} = R_{1.2}$ — Главное св-во схемы:
$R_2 = R_3$ больш. вх-е сопр-ие и фиксир. задан.
$R_4 = R_5$ коэф. усилен. по напр-ию

Имеется 2 каскада!
A_1, A_2 — неинверт-ие усилит. (перв. каск.)
A_3 — инверт-ий

$U_{вых_1} = V_{R_{1.1}} + V_{R_0} + V_{R_{1.2}}$ $I_{R_0} = \dfrac{V_1 - V_2}{R_0}$

$U_{вых_1} = I_{R_0}(R_{1.1} + R_0 + R_{1.2}) = (V_1 - V_2)\left(\dfrac{R_{1.1}}{R_0} + 1 + \dfrac{R_{1.2}}{R_0}\right) = (V_1 - V_2)\left(1 + 2\dfrac{R_{1.1}}{R_0}\right)$

$U_{вых} = -\dfrac{R_4}{R_3}\left(1 + 2\dfrac{R_{1.1}}{R_0}\right)(V_1 - V_2) = K(V_1 - V_2)$

Вар-ом может быть преобр-ль ток-напр, если исп-ть $R_{изм}$.

Б) Оптико-электронный преобразователь

$U_{вых} = I_{VD_3} R_{oc}$

В кач-ве датчика исп-ся фотодиод
Фотодиод — pn-переход с оптически прозрач. корпусом, у которого при освещении в базе генерируются пары электрон-дырка, что приводит к увелич. обр. тока.
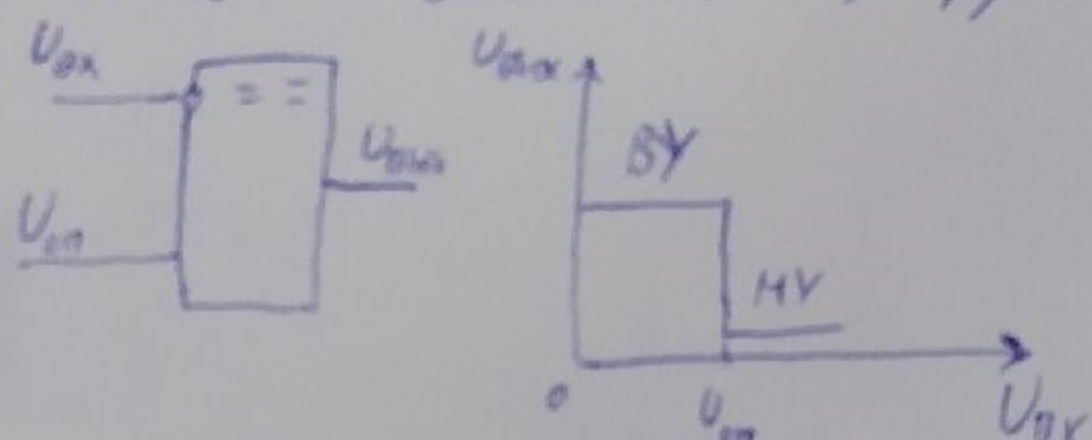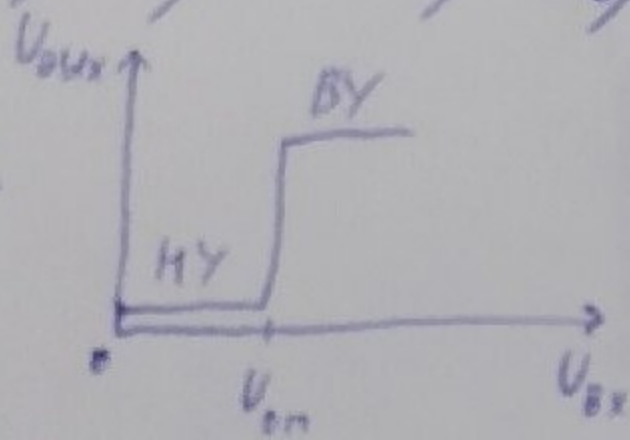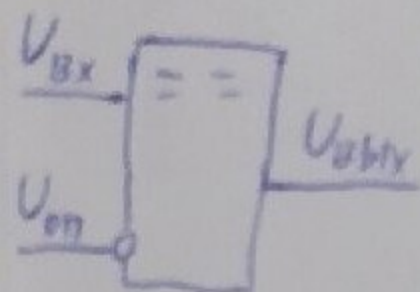
В) Преобразователь температуры
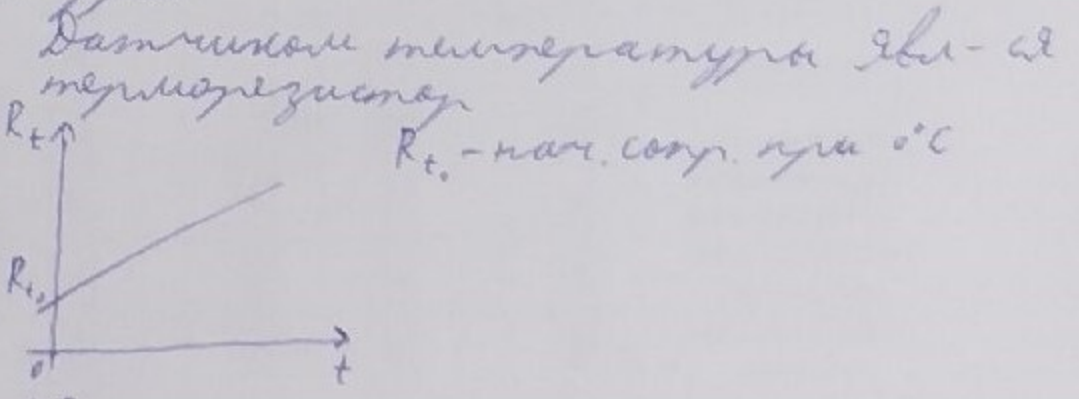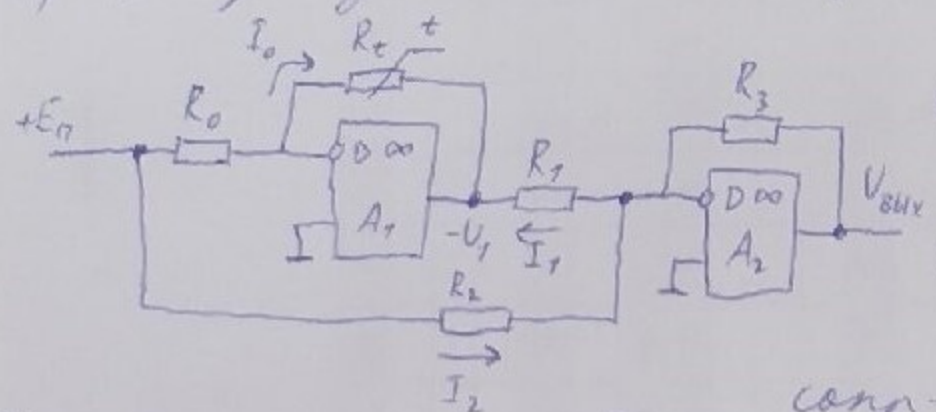
Датчиком температуры явл-ся термарезистор.
R_{t_0} — нач. сопр. при 0°C

Хар-ка термопреобр-ля ~~нелин~~

$R_t = R_{t_0} + \gamma t$

$R_{t_0} = 50$ Ом $\gamma = 0{,}21$ Ом/К

$E_{оп}, R_0$ — токозадающая цепь

R_2 нужен для компенс. нач-го напр-ия при нулевой температуре

Условие: при $t = 0$ $U_{вых} = 0$

это выпол-ся при $I_1 = I_2$, т.е. $-\dfrac{V_1}{R_1} = \dfrac{E_{оп}}{R_2}$

$V_1 = -\dfrac{R_{t_0}}{R_0} E_{оп}$; отсюда $R_0 R_2 = R_{t_0} R_1$ — условие баланса мостовой схемы при нулевой температуре

$U_{вых} = \dfrac{R_3}{R_1} \dfrac{E_{оп}}{R_0} \gamma t = \dfrac{R_3}{R_1} I_0 \gamma t$

⑬ Определение компаратора напр., сравнен. однополяр-ых сигналов, амплитудные передаточное хар-ки

Компаратор - это устр-во сравнен. 2-ух напр-ий по принципу больше-меньше. Компаратор явл-ся развитием схем-ки ОУ, но входу работают как ОУ с аналог. сигналами, а по выходу как логич. эл-т (ключ), т.е. может прин-ть высок или низк. ур-нь напр. одно из 2-ух напр-ий явл. входным, а второе опорным (напр, с котор. сравн-ся). Компаратор - это самое простое устр-во преобр. аналог. величин в цифров.

$V_{вх}$ $U_{оп}$ $U_{вых}$

$U_{вых}$ ВУ НУ $V_{оп}$ $V_{вх}$

$U_{вх}$ $U_{оп}$ $U_{вых}$

$U_{вых}$ ВУ НУ $V_{оп}$ $V_{вх}$

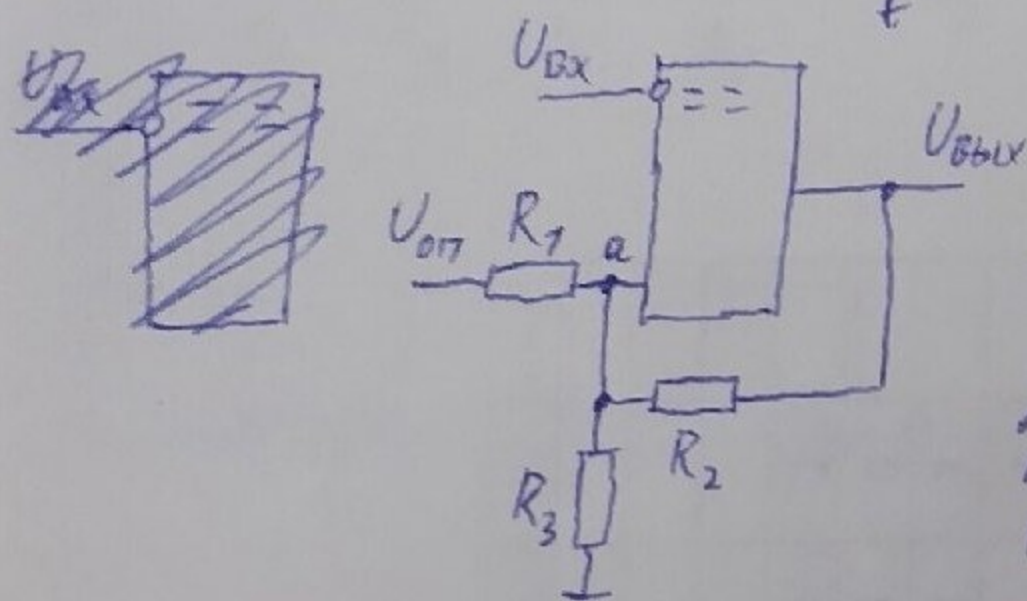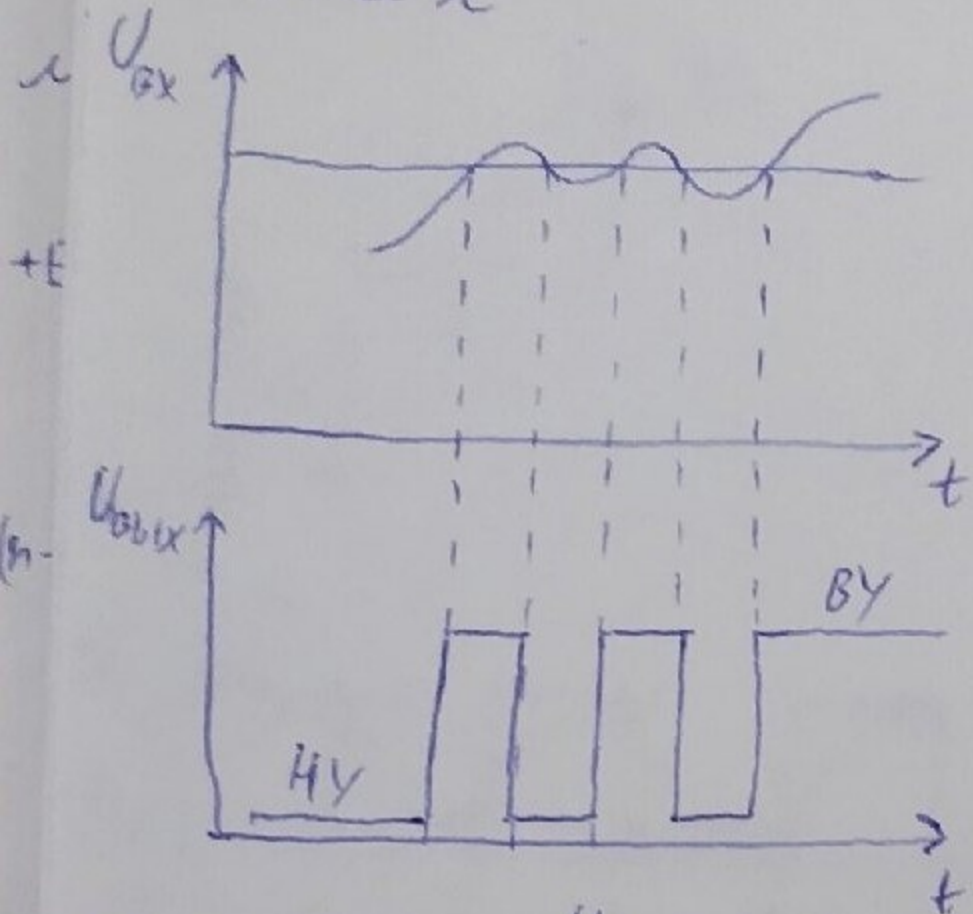Компар-ры имеют прим-но такую же систему пар-ов как и ОУ, но в отлич. от него доп-но введён пар-р "время переключ-ия"

(14) Компаратор для сравнения разнополярных сигналов
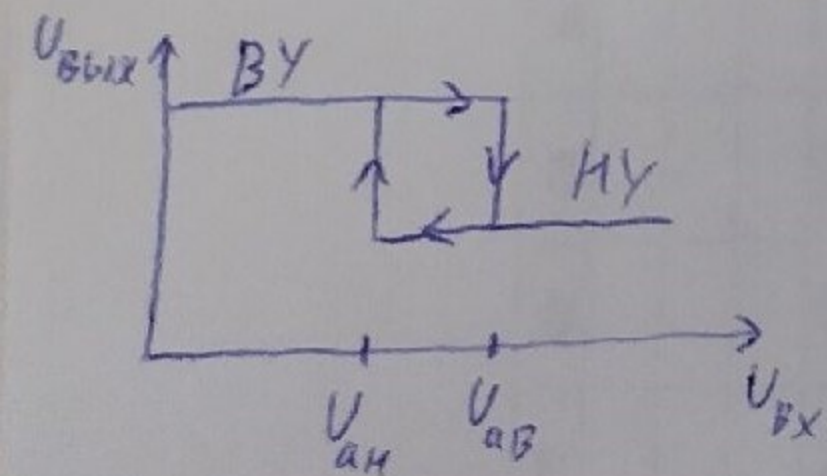
Компаратор перекл-ся когда напр-ие на выходе делителя перех. через 0
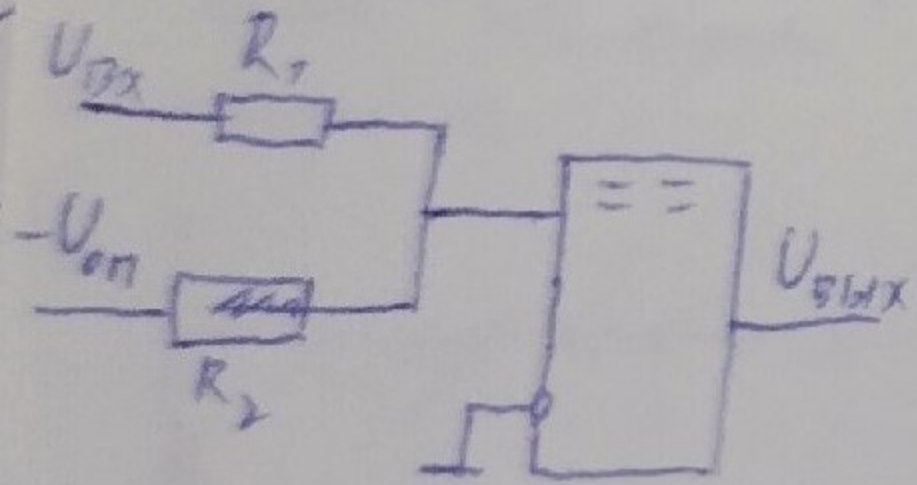
$$\frac{U_{вх} R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_{оп} R_1}{R_1 + R_2} = 0 \qquad U_{вх} = \frac{R_1}{R_2} U_{оп}$$

Компаратор с гистерезисом

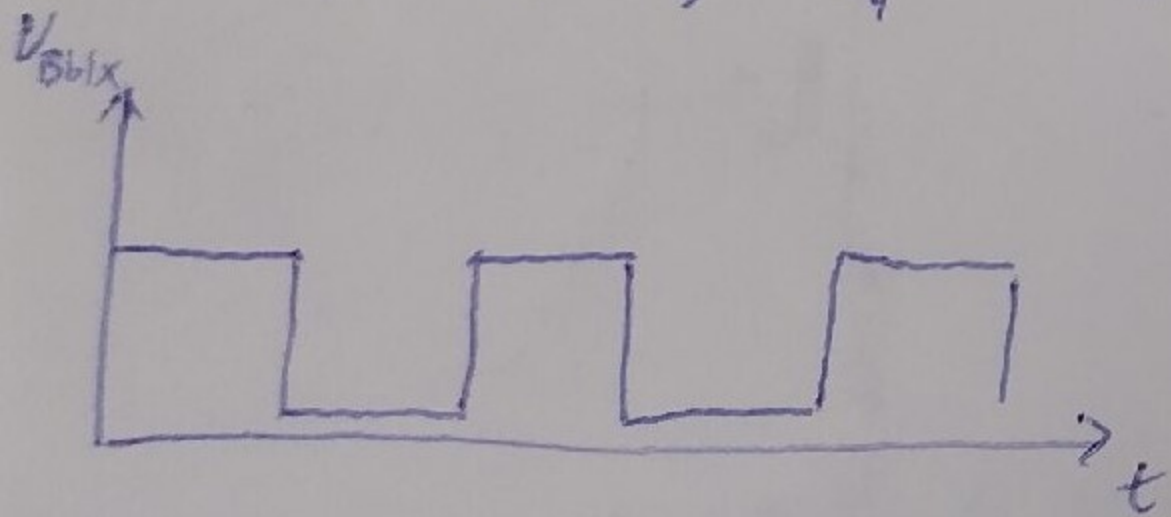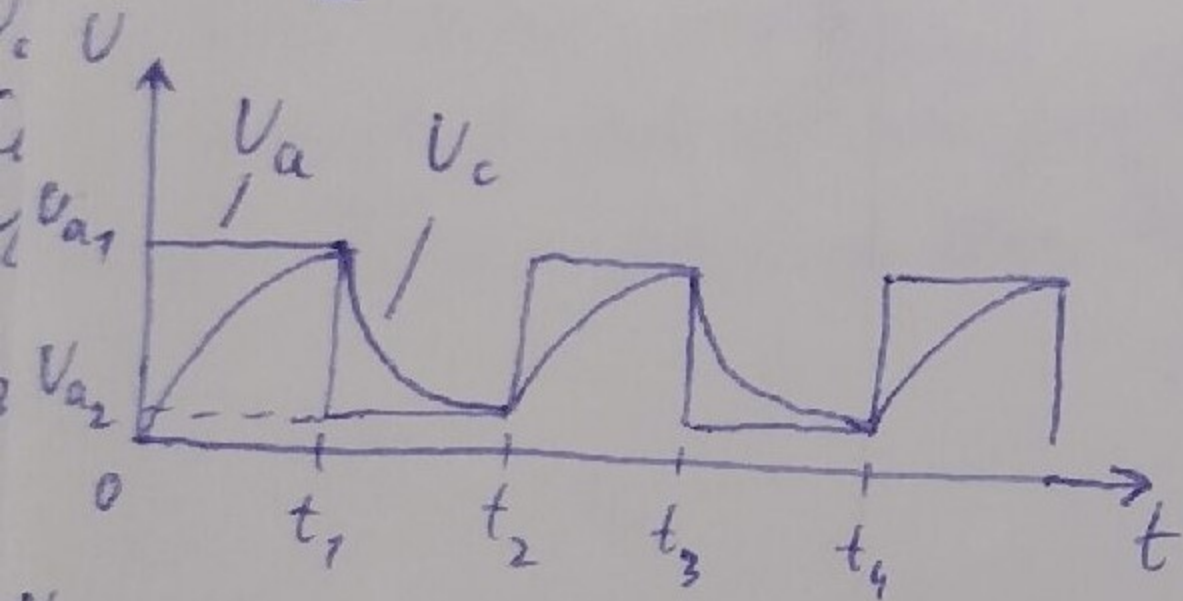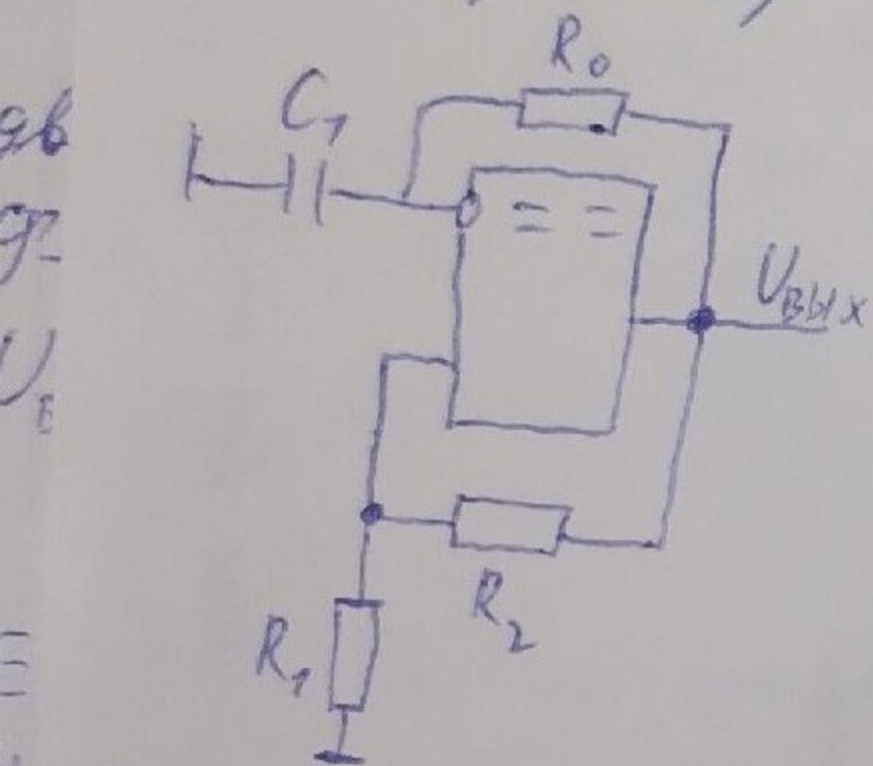Исп-ся при медленном изменении вх-го напр-ия в усл-ях шумов и помех

На выходе компаратора без гистерезиса наблюдается "дребезг" напряжения. Для того, чтобы не было многокр. перекл-ий, в схему с компар. вводят полож. ОС, за счет котор. при перв. переключ. компар-ра резко изм-ся опорн. напр-ие (в сторону пониж-ия), что искл-ет повторн. переключ-ия (дребезг)

Будем изм-ть $U_{вх}$ от 0 в плюс. При $U_{вх} = 0$ $U_{вх} < U_a$, поэтому на выходе высок. ур-нь напр-ия, $U_a = U_{ab}$. Как только $U_{вх} > U_{ab}$ компаратор переключ-ся, на выходе низк. уровень напр. При этом напр. в т. а умень. до уровня $U_{ан}$. Сл-но, при уменьш. $U_{вх}$, обратн. срабат. компар-ра произой. при другом, более низк. уровне напр. $U_{ан}$

$$U_{ан} = \frac{U_{оп}Y_1 + U_{ну}Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3} \qquad U_{ab} = \frac{U_{оп}Y_1 + U_{вх}Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3} \qquad где \quad Y_1 = \frac{1}{R_1}, \; Y_2 = \frac{1}{R_2}, \; Y_3 = \frac{1}{R_3}$$

АПХ имеет вид

Генератор прямоугольных импульсов на ОУ

В момент t_0 конденс. разряжен, напр. на инв. входе $=0$, на вых. высок. уров. напр. и $V_a = V_{a_1}$. Этим высок. уровнем выхода обесп. заряд C_1. В момент t_1 напр. на конденс. достиг. V_{a_1} и компаратор перекл. в сост. низк. ур-ня напр. на выходе, резко изм-ся напр. V_a до V_{a_2}, нач-ся заряд конденс. через резист. R_0 и выход компар-ра до тех пор пока V_c не достигнет V_{a_2} и далее процесс повт-ся

17) Назнач., ф-я преобр. и система пар-ов ЦАП

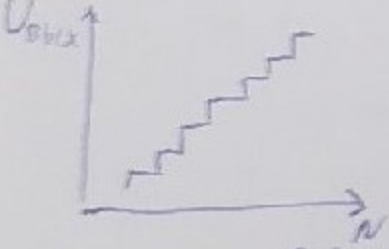ЦАП - устр-во, форм-ее на выходе аналог. напр-ие пропор-ое входному двоичному коду

Ф-я преоб-ия

$$U_{вых} = \pm K_{ЦАП} E_{оп} N \pm U_0$$

$K_{ЦАП}$ - коэф. преоб-ия
$E_{оп}$ - опорн. напр-ие
N - десятичн. эквив-нт двоич. кода

$E_{оп}$ опр-ет диапазон выходных напр-ий
U_0 - нач. знач. напр.

Согласно этой ф-ии зав-ть $U_{вых}$ от кода N имеет линейн. хар-р.
Чаще всего реал-ют ЦАП з-ех ф-ий


Реальн. ф-я преобр. $f_п$ имеет дискр. хар-р.
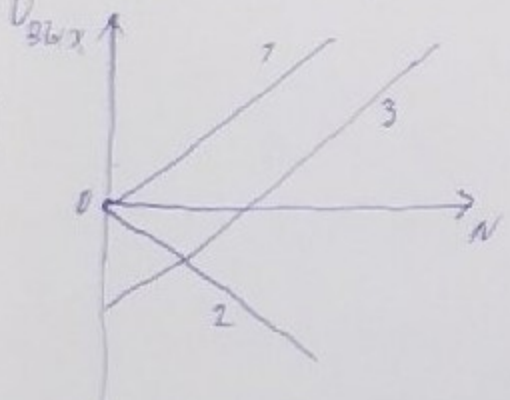
Пар-ры ЦАП:

1) Разрядность входного двоичного кода (10, 16, 24...)

2) Разреш-ая способность - изм-ие вых. напр. при изм-ии вх. кода на единицу младш. разряда. Единица младш. разряда (ЕМР) = шаг квантов.

3) Абсол. погрешн. преобр. в конечн. точке шкалы - отклон. реальн. вых-го напр-ия при макс. входн. коде от идеальн. (расчётного)

4) Нелинейность - макс. откл-ие действ. напр. от расчётного

5) Диффер-ия нелин-ть - откл-ие действ. шага квантов. от его средн. зн-ия
$$\delta = \frac{\Delta ЕМР}{ЕМР} \cdot 100\%$$

6) Напр. смещен нуля - напр. на вых. ЦАП при нулев. входном коде

7) Время установ. выходн. шкала - интервал времени с момента изм-ия вход. кода до момента, когда выходн. сигнал войдёт в зону
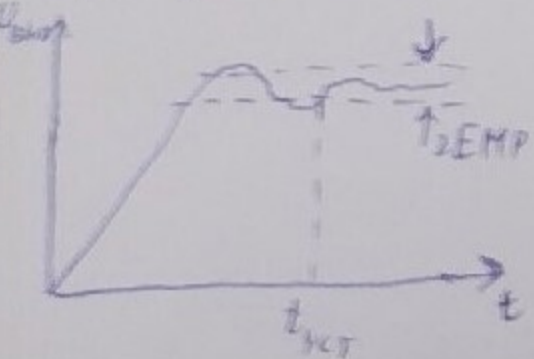
(18) ЦАП с двоично-взвешенными сопротивлениями

Базовой схемой явл-ся схема инвер-го включ ОУ, реализ-ая по типу сумматора с управляемыми ключами
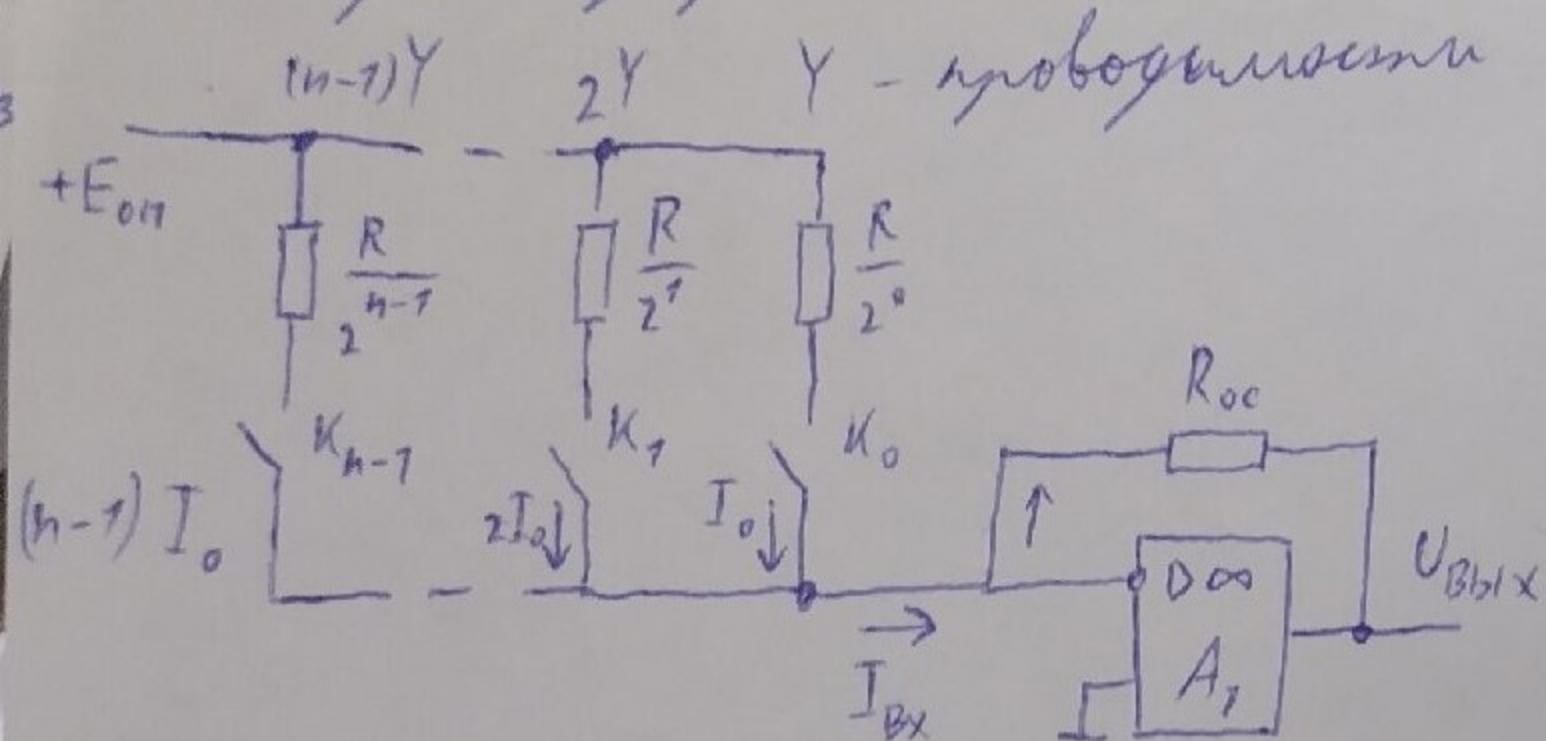
Входные рез-ры вып-ны в виде ряда с двоично-взвешенными сопр-ми (провод-ми), изменяющимися в соот-ии с весом разрядов двоичного числа разрядностью n. Общ. сопр. на входе ОУ удобнее представить в виде проводимостей резис-ов, напр. $Y = \frac{1}{R}$. Тогда общ. провод. на входе мот. быть записана в виде $Y_\Sigma = Y \sum_{i=0}^{n-1} \beta_i 2^i$, где $\beta = \begin{cases} 0 - при\ 0\ в\ i\text{-ом разряде числа} \\ 1 - при\ 1\ в\ i\text{-ом разряде числа} \end{cases}$

Y - проводимость рез-ра младш. разряда

$$U_{вых} = -E_{оп}\frac{R_{ос}}{R_{вх}} = -E_{оп} R_{ос} Y_\Sigma$$

код		Y разряда
0	0	$Y_\Sigma = Y(0\cdot1 + 0\cdot2) = 0$
0	1	$Y_\Sigma = Y(1\cdot1 + 0\cdot2) = 1$
1	0	$Y_\Sigma = Y(0\cdot1 + 1\cdot2) = 2$
1	1	$Y_\Sigma = Y(1\cdot1 + 1\cdot2) = 3$

Входные рез-ры вкл-ся ключами К, выполненных в виде МДП-транзисторов, которые в свою очередь упр-ся входными сигналами, соотв-ми разрядам входного двоичного кода

Общ. ф-я: $U_{вых} = R_{ос} Y E_{оп}$

Главн. недост. - широк. диапазон сопр-ия резис-ов, поэтому схема прим-ся при небольш. разрядности